

DOI: 10.5846/stxb201809091929

严青青, 张巨松, 徐海江, 李星星, 王燕提. 盐碱胁迫对海岛棉幼苗生物量分配和根系形态的影响. 生态学报, 2019, 39(20): - .

Yan Q Q, Zhang J S, Xu H J, Li X X, Wang Y T. Effects of saline-alkali stress on biomass allocation and root morphology of Sea Island cotton seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): - .

盐碱胁迫对海岛棉幼苗生物量分配和根系形态的影响

严青青¹, 张巨松^{1,*}, 徐海江², 李星星¹, 王燕提¹

¹ 新疆农业大学农学院, 教育部棉花工程研究中心, 乌鲁木齐 830052

² 新疆农业科学院经济作物研究所, 乌鲁木齐 830091

摘要:为探求海岛棉幼苗生物量分配和根系生长对混合盐碱胁迫的响应, 探索海岛棉幼苗对混合盐碱胁迫的适应特点, 以新疆阿克苏地区主栽海岛棉品种新海 31 号(XH31)、新海 35 号(XH35)、新海 43 号(XH43)及新海 48 号(XH48)为试材, 采用 NaCl、Na₂SO₄ 和 NaCl、NaHCO₃ 以物质的量 1:1 混合分别模拟中性盐混合盐(中性盐)和碱性盐混合盐(碱性盐)2 种盐类型, 总盐浓度(Na⁺)0(CK)、120、180、240、300、360 mmol/L, 对 2 种盐胁迫下不同浓度海岛棉幼苗生物量、根系长度、根系体积以及根系表面积等海岛棉幼苗根系形态特征指标变化差异以及不同茎级的根系形态特征进行了分析。结果表明, 中性盐下, 盐浓度在 0—180 mmol/L 时, 对海岛棉幼苗的根系总长度、总表面积、总体积、总根尖数有显著的促进的作用或不显著的抑制作用, 尤其盐浓度为 120 mmol/L 对海岛棉幼苗细根(0<d<0.5mm)的长度有显著的促进作用; 大于 180 mmol/L 后, 随着盐浓度的增加各项根系参数均显著减小; 碱性盐下, 除新海 31 号的总根尖数、细根及中根根尖数在 120 mmol/L 的盐浓度下比 CK 增加, 其余处理均随着盐浓度的增加再减小; 地上部生物量、根系生物量及根冠比在两种盐下随着盐浓度的增加逐渐减小, 减小程度也由小变大。低盐(120 mmol/L)环境能促进细根的伸长, 使海岛棉幼苗可以更加多的吸收养分和水分, 这是根系接触低盐环境时做出的响应, 高盐环境对海岛棉幼苗造成较大的损伤。

关键词:海岛棉; 碱性盐; 中性盐; 根系形态

Effects of saline-alkali stress on biomass allocation and root morphology of Sea Island cotton seedlings

YAN Qingqing¹, ZHANG Jusong^{1,*}, XU Haijiang², LI Xingxing¹, WANG Yanti

¹ College of agriculture, Xinjiang Agricultural University, Cotton Engineering Research Center of the Ministry of Education, Urumchi 830052, China

² Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumchi 830091, China

Abstract: Saline-alkali stress has always been a key factor restricting crop production in Xinjiang. Sea Island cotton is one of the main cash crops in Xinjiang and an important textile raw material. This experiment is based on the main Island cotton varieties Xinhai 31 (XH31), Xinhai 35 (XH35), Xinhai 43 (XH43) and Xinhai 48 (XH48), in the Aksu area of Xinjiang, involving treatment with neutral salt mixed with NaCl and Na₂SO₄ at 1:1 mole ratio and treatment with alkali salt mixed with NaCl and NaHCO₃ at 1:1 mole ratio. The objective was to explore the response of biomass allocation and root growth in Sea Island cotton seedlings to mixed saline-alkali stress. Total salt concentrations (Na⁺) in the different treatments were 0(CK), 120, 180, 240, 300, and 360 mmol/L. The differences in root morphological characteristics of Sea Island cotton seedlings under the two salt stress conditions, including biomass, root length, root volume, and root surface area, and root system morphological characteristics at different stem levels, were analyzed. Under the condition of neutral salt, the total root length, total surface area, total volume, and total root tip number of Sea Island cotton seedlings increased significantly or decreased slightly at salt concentrations of 0—180 mmol/L, and the fine root length of Sea Island cotton

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0101605-05)

收稿日期: 2018-09-09; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xjndzjs@163.com

seedlings increased significantly, especially at a concentration of 120 mmol/L. When the concentration was higher than 180 mmol/L, the root parameters decreased significantly with the increase in salt concentration. Under the condition of alkaline salts, the total number of root tips and fine and middle root tips of Xinhai 31 were higher than that of CK at 120 mmol/L salt concentration, and the other parameters decreased with the increase in salt concentration. The biomass and root-shoot ratio decreased gradually with the increase in salt concentration under the two salt treatments, and the degree of reduction increased from low to high. Low salt (120 mmol/L) environment can promote the elongation of fine roots, so that Sea Island cotton seedlings can absorb more nutrients and water, which is the response of roots when exposed to a low salt environment. High salt environment causes greater damage to Sea Island cotton seedlings.

Key Words: Sea Island cotton; alkaline salt; neutral salt; root system morphology

新疆盐碱地范围广、面积大,是限制作物生产的主要因素之一,类型多为复合型盐碱地,盐化与碱化作用往往相伴发生,盐碱成分主要有 NaCl 、 Na_2SO_4 、 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 ,并且由于人为不合理灌溉、过度使用化肥等原因使耕地次生盐碱化严重^[1]。在盐碱胁迫下,植物根系可以通过改善根系形态来抵御盐环境。根系是决定植物根量大小、适应盐生环境、吸收和利用土壤养分最直观的适应特征之一^[2]。海岛棉(*Gossypium barbadense* L.)是棉花的一个栽培种,其品质优于陆地棉,纤维长、细度高、强度大,是我国重要的纺织品原料,也是世界上最优良的棉纤维。海岛棉作为一种较耐盐碱的作物,一直是改良盐碱地的先锋作物^[3],新疆除了是我国重要的商品棉生产基地,也是主要的海岛棉产区,低盐能促进海岛棉种子萌发以及幼苗生长^[4],但混合盐碱对海岛棉生长机制的影响鲜有报道。因此,合理开发与利用新疆盐碱地区种植海岛棉对于我国优质纺织业的发展以及盐碱地的开发利用具有重要意义。

根系是最早感受逆境胁迫信号的器官,土壤中盐碱对植物的危害最直接的受害部位是植物的根系,它在逆境下的分布特征和表现是植物有效吸收和利用土壤养分最直接的适应特征。植物根系系统存在着复杂的分支结构,而不同茎级根系形态对养分积累、运移有不同的作用,更大的根系土壤体积的形成可以提高作物本身的耐盐性^[5],而细根能影响土壤中盐分与水分的运移^[6],因此,根的生长发育状况和活力对植物的耐盐能力至关重要。根尖数是根系活力的外在表现,根尖数的多少直接体现了根系的生长趋势。目前,国内外对植物盐碱胁迫做了大量的研究,研究了盐碱胁迫下植物地上部分的分布、根系形态、生理特征等方面^[7-13],但是对海岛棉的研究却多是集中在中性盐胁迫上^[4,14-15],在针对海岛棉碱胁迫和混合盐碱胁迫方面的研究相对较少。因此,本研究从生产实际出发,人工模拟盐碱胁迫环境,研究海岛棉幼苗根系在混合盐碱胁迫下的生长特性,对于探讨海岛棉幼苗根系在盐碱胁迫逆境环境中的生理作用具有重要意义,为进一步研究海岛棉盐碱胁迫生理机制奠定基础,也为可持续利用盐碱地资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2017年4月—8月在新疆农业大学教育部棉花工程研究中心棉花生理室进行。供试棉花品种为海岛棉(学名)品种新海31号(XH31)、新海35号(XH35)、新海43号(XH43)及新海48号(XH48),由新疆农业科学院经济作物研究所提供。采用 NaCl 、 Na_2SO_4 和 NaCl 、 NaHCO_3 以物质的量比1:1混合分别模拟中性盐和碱性盐2种盐类型,胁迫处理总盐浓度设为0(CK)、120、180、240、300、360 mmol/L。

精选饱满、大小一致的种子,采用 HgCl_2 (0.1%)浸泡消毒10 min,浸泡消毒后,先用自来水冲净,再用蒸馏水冲洗五次,最后用蒸馏水浸种24 h;使用鼓风干燥箱在120℃下对砂子进行高温灭菌24 h。使用规格为13 cm×19 cm×12 cm的发芽盒,每个发芽盒平铺600 g的砂子,加对应浓度的盐水102 mL,空白对照(CK)加102 mL蒸馏水,然后选择浸种后露白一致的种子平整放入发芽盒中,每盒播50粒种子,种子均匀播于湿砂上,加盖5 mm湿砂,每个处理播3盒,即重复3次。盖上发芽盒盖子,防止水分蒸发。置于光照培养室内,白天温度

(25 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, 光强 $400\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 12 h; 夜间温度 (22 ± 2) $^{\circ}\text{C}$, 12 h, 相对湿度 70%—75%。播种后第 12 天测定棉苗的根系形态及根系生物量。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 根系形态

每个处理取 10 株幼苗棉株, 采用 Scan Wizard EZ 扫描仪扫描幼苗根系, 用万深 LA-S 根系分析系统分析根长、表面积、体积以及不同径级根长和表面积等形态学参数。

1.2.2 根系生物量

根系形态分析完成以后, 将棉株分成根、茎叶 2 部分, 置于 105°C 干燥箱中杀青 20 min, 80°C 烘干至恒重, 称其根干物质质量, 即为根系生物量, 称茎叶干物质质量, 即为茎叶生物量。重复 3 次, 每 10 株幼苗期的平均值表示 1 次重复。

1.2.3 数据处理

采用 SPSS19.0 计算软件进行数据分析, 采用新复极差法进行差异显著性检验 ($P<0.05$), 采用 Microsoft Office Excel2010 软件整理数据和绘制图表。

2 结果与分析

2.1 盐碱胁迫对海岛棉幼苗生物量及根冠比的影响

表 1 表明, 中性盐胁迫下, 地上部生物量的积累在不同盐浓度间差异不显著, 120 mmol/L 盐浓度下的 XH31 和 XH35 的地上部生物量比 CK 要高, XH31 在 120、180、240、300、360 mmol/L 的盐浓度下分别比 CK 高出 17.55%、23.94%、18.57%、13.15%、55.44%; 各品种的根系生物量随着盐浓度的增大均呈下降趋势。碱性盐胁迫下, XH31、XH35 的地上部生物量在 120、180 mmol/L 盐浓度下比 CK 显著增加, XH43 的地上部生物量在 240 mmol/L 浓度下出现最大值, 其余处理间差异不显著; 根系生物量变化与中性盐下一致, 均随着盐浓度的增大呈下降趋势。盐胁迫下, 300、360 mmol/L 的根冠比极小, 其余处理均比 CK 显著减少。不论是中性盐还是碱性盐均对根系生物量的影响显著。

2.2 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系长度的影响

由表 2 可知, 中性盐下, 细根 ($d\leq 0.5\text{ mm}$) 的根长在 120 mmol/L 盐浓度下与 CK 相比, XH31 和 XH35 有显著的增加, 所有品种在 180、240 mmol/L 浓度下与 CK 相比无显著差异; 中根 ($0.5<d\leq 2.0\text{ mm}$) 的根长与 CK 相比, XH43 在 120、180 mmol/L 浓度下分别增加了 72.25%、38.21%, XH31、XH35、XH48 差异不显著; XH35 的粗根 ($d>2.0\text{ mm}$) 根长在 180、240 mmol/L 比 CK 增加了 10.38、6.34 cm, XH43 的粗根长度随着盐浓度的增加逐渐减少; XH31、XH35、XH43 的根系总长度与 CK 相比在 120 mmol/L 显著增大, 其余处理随着盐浓度的增加, 根系总长度在逐渐减少。碱性盐下, 除 XH43 在 120 mmol/L 中根长度与 CK 相比显著增加, 其余品种的细根、中根、粗根的根系长度在 120 mmol/L 均无显著差异; 当盐浓度大于 180 mmol/L 时, 各品种不同茎级的根长随着盐浓度的增加在逐渐减小。2 种盐下 300、360 mmol/L 盐浓度细根、中根、粗根的根系长度极小甚至为 0。

2.3 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系表面积的影响

根系总表面积一定程度上表现了根系接触土壤的总面积, 不同茎级根系的功能不同接触土壤的作用机理也不同。表 3 中, 2 种盐下, 除 XH35 在中性盐的 120 mmol/L 盐浓度下根系总表面积比 CK 显著增加, 中性盐 120、180、240 mmol/L 的盐浓度与 CK 相比, 差异不显著, 其余处理均随着盐浓度的增大根系的总表面积逐渐减少。中性盐下, 120 mmol/L 盐浓度下通过促进 XH35 中根 ($0.5<d<2.0\text{ mm}$) 的表面积增加了该品种的根系总表面积, XH31 细根 ($d\leq 0.5\text{ mm}$) 的表面积比 CK 显著增加了 56.00%, 120 盐浓度增加了 XH35 的细根与 XH31 的中根的表面积, 对其余品种的不同茎级的根系影响不显著。碱性盐下, XH35 的粗根在 120 mmol/L 盐浓度下比 CK 显著增加了 84.00%, 但总的根系表面却没有显著差异; 此外, 各品种的根系表面积随着盐浓度的增大显著降低。

表 1 盐碱胁迫对海岛棉幼苗生物量及根冠比的影响

Table 1 Effects of saline-alkali stress on biomass and root/shoot ratio of Sea Island cotton seedlings

盐类型 Salt type	浓度 Concentration/ (mmol/L)	地上部生物量 Shoot biomass/(mg/株)					根系生物量 Root biomass/(mg/株)					根冠比 Root/shoot ratio				
		XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48			
中性盐 Neutral salt	CK	55.88klm	57.62hijkml	58.72hijkml	58.06hijkml	12.4bcde	15.45a	12.64bcd	11.32cdefg	0.220b	0.270a	0.213bcd	0.1966bedef			
	120	65.69bedefghij	74.28b	60.82ghijkml	62.38efghijkl	11.21cdefg	12.56bcd	12.86bc	10.33defgh	0.167degh	0.170cdefg	0.210bede	0.163efghi			
	180	69.26bedefg	64.47cdeefghijk	55.11lm	60.06hijkml	11.37cdefg	10.08efgh	9.58gh	10.14efgh	0.163efghi	0.156fghij	0.176bedefg	0.170cdefg			
	240	66.26bedefghi	61.44fghijkml	62.62defghijkl	56.74jklm	9.11ghij	9.32ghi	8.82hijk	8.81hijk	0.133ghijklm	0.156fghij	0.143ghijk	0.158fghij			
	300	63.23defghijkl	66.06bedefghi	56.09klm	55.90klm	8.44hijk	7.22ijkl	5.51lmnop	4.26nopq	0.136ghijkl	0.110jklmno	0.096klmnop	0.076nopqr			
碱性盐 Alkaline salt	360	86.86a	58.12hijkml	63.71defghijkl	58.90hijkml	4.98lmnop	6.96jklm	5.80lmno	4.67mnopq	0.056pqr	0.116ijklmno	0.090lmnop	0.076nopqr			
	CK	55.88klm	57.62hijkml	58.72hijkml	58.06hijkml	12.4bcde	15.45a	12.64bcd	11.32cdefg	0.220b	0.270a	0.213bcd	0.1966bedef			
	120	72.76bc	70.25bedef	63.17defghijkl	62.86defghijkl	12.13bedef	9.92fgh	13.76ab	10.66cdefgh	0.167degh	0.143ghijk	0.216bc	0.170cdefg			
	180	70.70bede	72.37bc	62.96defghijkl	58.50hijkml	8.36hijk	10.32defgh	9.52ghi	6.68klm	0.120hijklmno	0.143ghijk	0.157fghij	0.113jklmno			
	240	62.56defghijkl	65.84bedefghi	71.31bcd	44.72n	5.33lmnop	9.12ghij	6.12lmn	5.38lmnop	0.090lmnop	0.140ghijk	0.083nopq	0.120hijklmno			
Xinhai 48	300	66.63bedefgh	59.36hijkml	57.99hijkml	59.07hijkml	1.66rs	3.62opqr	2.54qr	3.21pqr	0.086mnop	0.063opqr	0.036qr	0.056pqr			
	360	—	55.10lm	57.29ijklm	53.32m	—	1.72rs	3.43pqr	5.02lmnop	—	0.030r	0.056pqr	0.090lmnop			

表 中同一指标不同品种间不同的字母表示在不同盐碱浓度胁迫下各品种在 5% 水平上差异显著; CK: 空白对照 Blank control; XH31: 新海 31 号 Xinhai 31; XH35: 新海 35 号 Xinhai 35; XH43: 新海 43 号 Xinhai 43; XH48: 新海 48 号 Xinhai 48

表 2 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系长度的影响

Table 2 Effects of saline-alkali stress on the length of root system of Sea Island cotton seedlings with different stem grades

盐类型 Salt genre	浓度 Concentration/ (mmol/L)	根系总长度 Total root length-L/(cm/株)					直径 Diameter-d≤0.5 mm 根系长度 L					直径 Diameter-d>2.0 mm 根系长度 L				
		XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48			
中性盐 Neutral salt	CK	42.39hijkml	106.18d	132.33b	57.51fgh	20.86de	3.81hijk	10.24ghij	28.46bcd	21.53ghijkl	82.17d	74.42d	27.95fghij	0.00h	15.14ef	36.77a
	120	73.64ef	123.37bc	178.83a	66.70fg	43.16a	15.48ef	13.09efg	34.19b	30.47fghi	86.28cd	128.19a	32.50gh	0.00h	17.97cdef	26.04bc
	180	50.02ghij	112.52cd	131.70b	53.91ghi	25.85bcd	6.62ghijk	6.26ghijk	33.38bc	24.17fghjk	73.90d	102.86b	20.52hijkl	0.00h	25.52bc	16.91def
	240	49.94ghij	84.26e	22.13nopq	50.87ghij	29.35bcd	3.38hijk	10.63ghi	29.23bcd	20.58hijkl	58.17e	11.49ijklm	21.64ghijkl	0.00h	21.48cde	0.00h
	300	44.40hijkl	25.38mnop	6.37qr	8.22qr	30.06bc	1.10jk	0.03k	0.00k	14.34ijklm	6.98klm	6.34klm	8.22klm	0.00h	9.60fg	0.00h
碱性盐 Basic salt	360	6.99qr	32.57klmno	4.70r	9.11pqr	0.00k	0.18k	0.00k	0.00k	6.99klm	8.00klm	4.70lm	9.10klm	0.00h	24.38bcd	0.00h
	CK	42.39hijkml	106.18d	132.33b	57.51fgh	20.86de	3.81hijk	10.24ghij	28.46bcd	21.53ghijkl	82.17d	74.42d	27.95fghij	0.00h	15.14ef	36.77a
	120	53.90ghi	65.57fg	32.32klmno	34.56klmno	25.94bcd	2.65hijk	5.50ghijk	24.69cd	27.95fghij	31.32ghi	99.33bc	9.86klm	0.00h	30.71ab	18.45cde
	180	27.99lmno	57.00gh	47.31hij	16.41opqr	11.17fgh	3.63hijk	1.89jk	6.38ghijk	16.82hijklm	38.93f	40.51f	10.03klm	0.00h	9.47fgh	9.40fgh
	240	10.28pqr	38.19ijklmno	1.86r	1.40r	7.58ghijk	1.20jk	0.00k	0.00k	2.69m	29.30fghi	1.86m	1.40m	0.00h	5.81gh	0.00h
Xinhai 48	300	1.21r	2.49r	0.56r	0.69r	1.21jk	0.00k	0.25k	0.00k	0.00m	2.49m	0.30m	0.69m	0.00h	0.00h	0.00h
	360	—	0.89r	0.81r	1.60r	—	0.00k	0.00k	0.00k	—	0.89m	0.80m	1.60m	—	0.00h	0.00h

表 中同一指标不同品种间不同的字母表示在不同盐碱浓度胁迫下各品种在 5% 水平上差异显著

表 3 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系表面积的影响

Table 3 Effects of Saline-alkali Stress on Root Surface Area of Sea Island cotton Seedlings

盐类型 Salt genre	浓度 Concentration/ (mmol/L)	根系总表面积 Total root surface area-SA/(cm ² /株)				直径 Diameter$d\leq 0.5\text{ mm}$ 根系表面积 SA				直径 Diameter$d> 2.0\text{ mm}$ 根系表面积 SA			
		XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48
中性盐 Neutral salt	CK	4.55ghijk	30.43cd	47.61a	10.44g	1.98bcde	0.46ghij	0.76ghij	3.50a	2.44ghij	19.52d	22.19bcd	6.55fgh
	120	7.46ghijk	42.28ab	42.28ab	8.78ghij	3.09ab	1.45defgh	0.63ghij	3.05ab	4.33ghij	26.76ab	25.64abc	5.58fghi
	180	8.05ghijk	32.26cd	36.45bc	6.82ghijk	3.03ab	1.31efghi	1.03efghij	2.78abc	4.70ghij	21.06cd	27.80a	4.04ghij
	240	6.38ghijk	21.78ef	4.58ghijk	7.33ghijk	2.54abcd	0.34hij	1.57defg	3.26a	3.49ghij	13.02e	2.81ghij	3.94ghij
	300	4.61ghijk	10.82g	1.15jk	2.23ijk	1.96bcde	0.11j	0.01j	0.00j	2.65ghij	1.56ghij	1.14ij	2.23ghij
碱性盐 Basic salt	360	1.35ijk	10.23gh	1.71ijk	2.19ijk	0.08ij	0.07j	0.04j	0.04j	1.27hij	3.26ghij	1.66ghij	2.14ghij
	CK	4.55ghijk	30.43cd	47.61a	10.44g	1.98bcde	0.46ghij	0.76ghij	3.50a	2.44ghij	19.52d	22.19bcd	6.55fgh
	120	6.34ghijk	29.76cd	39.08b	4.41ghijk	2.07bcde	0.23ij	0.40ghij	1.87cdef	4.12ghij	10.28ef	24.43abcd	2.51ghij
	180	3.55ghijk	17.86f	26.21de	2.35hijk	0.82fghij	0.36hij	0.19ij	0.29hij	2.70ghij	10.49ef	14.76e	2.05ghij
	240	2.12ijk	9.38ghi	0.59k	0.33k	0.41ghij	0.20ij	0.00j	0.03j	1.70ghij	6.81fg	0.59ij	0.29ij
	300	0.13k	0.87jk	0.09k	0.15k	0.13ij	0.01j	0.02j	0.03j	0.00j	0.63ij	0.07ij	0.12ij
	360	—	0.12k	0.15k	0.41k	—	0.01j	0.00j	0.00j	—	0.10ij	0.15ij	0.41ij

表中同一指标不同品种间不同的字母表示在不同盐碱浓度胁迫下各品种在 5%水平上差异显著

2.4 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系体积的影响

表4中可以看出,与根系总表面积一致,除XH35在中性盐的120 mmol/L比CK显著增加44.00%,根系的总体积随着盐碱浓度的增加在逐渐减小,各品种减少的程度不同。XH31在中性盐下120、180 mmol/L的根系总体积与CK相比分别增加了3.99、4.73 cm³;XH35的细根($d \leq 0.5$ mm)在中性盐120 mmol/L比CK显著增加了2.37 cm³,XH43及XH48的根系总体积在中性盐120 mmol/L时与CK的差异不显著。这说明低浓度(0—180 mmol/L)的中性盐对4个海岛棉品种的总根系体积有促进作用或负影响不显著,主要是对中根及粗根的体积影响不显著,对细根的体积有促进作用。碱性盐下,各品种的根系总体积、细根体积、中根体积、粗根体积均随着盐浓度的增加逐渐减少,碱性盐对根系体积的影响比中性盐大。

2.5 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根尖数的影响

由表5可得,XH35、XH43的中性盐的120 mmol/L总根尖数分别比CK增加了44.44%、41.66%,XH35的细根根尖数显著比CK增加了150.00%,中根根尖数也显著大于CK,XH43的中根根尖数比CK增加了53.62%,这说明导致XH35、XH43总根尖数增加的原因是细根及中根根尖数的增加;XH43的碱性盐的120 mmol/L总根尖数与CK相比无显著增加,但中根根尖数比CK增加了39.13%;说明超过120 mmol/L,无论是中性盐还是碱性盐各级根尖数以及总根尖数都在逐渐减少,减少的程度由小至大。中性盐下各品种总根尖数及各级根尖数在0—180 mmol/L时下降程度缓慢与CK无显著差异,碱性盐下,各品种总根尖数及各级根尖数在0—120 mmol/L时下降缓慢与CK无显著差异,这说明碱性盐对于海岛棉幼苗根系生长的伤害大于中性盐的。两种盐胁迫下,120 mmol/L的盐浓度对海岛棉幼苗根系根尖数有促进作用或无显著抑制作用。

3 讨论

生物量配置模式的自我调节是植物适应盐胁迫的可塑性机制之一,往往符合最优分配理论的预测^[16],作物幼苗期阶段的叶面积比较小,捕获光的能力弱,导致光合物质生产少,根系是植物幼苗期主要的营养物质吸收、传送的器官,根系生物量能影响根系为幼苗期的植株传送营养物质,与地上部相比,生产相同的单位干物质量需要的能量是地上部的两倍,这表明根系生长更能消耗作物本身的能量。本试验条件下,海岛棉幼苗根冠比随盐浓度增大呈现下降的趋势,当盐浓度低于120 mmol/L根系生物量减少不显著,这说明对根系生长的抑制不大,当盐浓度大于120 mmol/L,随着盐浓度的增加根系生物量有明显的下降趋势,而地上部生物量的下降趋势比根系生物量下降的程度低,这是导致根冠比下降的主要原因,这可能是海岛棉幼苗通过增加对地上部生物量的分配以及减小对根系生物量的分配较少的接触土壤中的盐碱来抵抗盐环境对植株的伤害,同时减少根系生物量的生产,节省自身的能量,以供给生产地上部生物量,提高光合作用,从而获得更多有效光能,但光合参数这一方面研究还需进一步验证。

根系是作物与土壤的媒介,土壤中的营养物质与水分全靠根系传送到植株,其生长状况不仅直接影响植株对水分和养分的吸收能力,还制约着植株地上部的生长发育。不同分支等级的根序具有显著不同的解剖、形态、养分和生理特征^[17-19],细根的主要功能是吸收营养,粗根的主要功能是运输养分并让植株稳定在土壤中,改善根系研究框架是提高根系特征认识的基础。土壤水分主要通过沿水势梯度的扩散及植物细根的吸收运动,土壤中水分和盐分的梯度格局影响细根在土壤中的分布,同时细根也会影响土壤中水分和盐分的梯度分布^[6],U Schleiff^[5]指出,植物根茎粗、根毛少的根由于单位面积内的土壤水分蒸发快,更容易让盐分积累在根系周围,而王庆惠等^[3]研究表明,为了降低盐分积累,棉株本身会将更多的资源分配至中(直径:0.4—1.2 mm)、细(直径:0—0.4 mm)根以减缓根系生长的抑制程度,增强根系的觅养能力,提高根系对逆境的适应性,可见,盐胁迫下,植物本身通过对不同茎级根系的生长分配来适应盐环境。因此,采用根系分级研究框架研究根系响应特征具有重要的科学意义。本研究条件下,低盐浓度(120 mmol/L)使各品种的细根长度、表面积、体积以及根尖数有不同程度的增加,对中根及粗根无显著抑制作用,低浓度的盐对各品种的幼苗期细根伸长有促进作用,这有可能是通过减小根系直径,增加根尖数,维持根系活力,从而增加根系长度的方式更大范围

表 4 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根系体积的影响

Table 4 Effects of Saline-alkali Stress on Root Volume of Sea Island cotton Seedlings																	
盐类型 Salt genre	浓度 Concentration/ (mmol/L)	根系总体积 Total root volume-V/(cm ³ /株)				直径 Diameter-d≤0.5 mm 根系体积 V				0.5<直径 Diameter-d≤2.0 mm 根系体积 V				直径 Diameter>2.0 mm 根系体积 V			
		XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48
中性盐 Neutral salt	CK	1.95fg	37.38c	55.77a	10.97efg	1.19cdefg	0.81efg	0.35fg	4.06a	0.75c	34.98a	40.09a	6.88c	0.00b	1.58b	15.32a	0.02b
	120	5.94efg	54.04a	52.42a	4.95efg	2.95abc	3.18ab	2.19bcdef	3.29ab	2.40c	45.10a	43.78a	1.64c	0.58b	5.74b	6.44b	0.01b
	180	6.68efg	48.09ab	40.17bc	4.29efg	2.52abcde	2.65abcde	1.51bcdefg	2.74abcd	4.13c	44.74a	36.26a	1.54c	0.02b	0.69b	2.39b	0.00b
	240	2.80fg	14.79e	1.77fg	5.14efg	1.94bcdefg	0.26g	1.03defg	3.19ab	0.83c	11.15c	0.72c	1.93c	0.01b	3.37b	0.01b	0.00b
	300	1.75fg	1.26fg	0.12g	1.82fg	0.36fg	0.14g	0.00g	0.00g	0.67c	0.52c	0.12c	1.82c	0.71b	0.60b	0.00b	0.00b
碱性盐 Basic salt	360	0.32g	6.90efg	0.54g	1.85fg	0.00g	0.04g	0.02g	0.00g	0.32c	3.97c	0.52c	1.67c	0.00b	2.87b	0.00b	0.18b
	CK	2.33fg	37.38c	55.77a	10.97efg	1.19cdefg	0.81efg	0.35fg	4.06a	0.75c	34.98a	40.09a	6.88c	0.38b	1.58b	15.32a	0.02b
	120	2.35fg	8.79efg	48.15ab	1.82fg	0.79efg	0.34fg	0.12g	1.10defg	1.55c	7.16c	43.66a	0.71c	0.01b	1.28b	4.37b	0.00b
	180	1.58fg	11.71ef	25.52d	0.47g	0.26g	0.19g	0.29g	0.00g	1.31c	10.94c	22.96b	0.47c	0.00b	0.57b	2.27b	0.00b
	240	0.48g	4.10efg	0.12g	0.16g	0.02g	0.09g	0.00g	0.01g	0.45c	3.81c	0.12c	0.14c	0.00b	0.19b	0.00b	0.00b
	300	0.04g	0.52g	0.03g	0.05g	0.04g	0.00g	0.00g	0.01g	0.00c	0.37c	0.00c	0.04c	0.00b	0.14b	0.02b	0.00b
	360	—	0.00g	0.04g	0.16g	—	0.00g	0.00g	0.00g	—	0.00c	0.03c	0.16c	—	0.00b	0.00b	0.00b

表中同一指标不同品种间不同的字母表示在不同盐碱浓度胁迫下各品种在 5%水平上差异显著

表 5 盐碱胁迫对海岛棉幼苗根尖数的影响

Table 5 Effects of Saline-alkali stress on the number of root tips of different stem-grade roots of Sea Island cotton seedlings																	
盐类型 Salt genre	浓度 Concentration/ (mmol/L)	根系总根尖数 Root tips/(个/株)					直径 Diameter-d≤0.5 mm 根尖数					直径 Diameter-d>2.0 mm 根尖数					
		XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48	XH31	XH35	XH43	XH48
中性盐 Neutral salt	CK	17.8ghi	19.8efgh	19.2efgh	19.6efgh	12.4b	2.8fghijk	4.0efgh	13.4ab	5.0fghi	15.8bc	13.8cd	5.4efghi	0.4de	1.2abcde	1.4abcd	0.8bcde
	120	19.4efgh	28.6a	27.2ab	19.8efgh	14.2ab	7.0cd	3.8fghi	15.6ab	5.0fghi	19.8a	21.2a	3.6ghijk	0.2de	1.8ab	2.2a	0.6cde
	180	19.8efgh	20.2defg	22.0def	20.8defg	13.4ab	3.0fghijk	2.4fghijk	15.0ab	6.4efg	16.4bc	18.6ab	5.8efgh	0.0e	0.8bcde	1.0bcde	0.0e
	240	20.6defg	16.0hi	11.6jk	14.4ij	16.2a	2.0hijk	2.4fghijk	9.4c	3.8ghijk	12.8d	8.2e	4.6fghij	0.6cde	1.2abcde	1.0bcde	0.4de
	300	17.4ghi	3.6mn	2.8mn	1.0n	14.4ab	0.2jk	1.0hijk	0.0k	3.0hijkl	2.6hijkl	1.8jkl	1.0kl	0.0e	0.8bcde	0.0e	0.0e
碱性盐 Basic salt	360	2.4n	3.8mn	1.0n	1.2n	0.8hijk	0.4ijk	0.0k	0.2jk	1.6kl	1.8kl	1.0kl	1.0kl	0.0e	1.6abc	0.0e	0.0e
	CK	17.8ghi	19.8efgh	19.2efgh	19.6efgh	12.4b	2.8fghijk	4.0efgh	13.4ab	5.0fghi	15.8bc	13.8cd	5.4efghi	0.4de	1.2abcde	1.4abcd	0.8bcde
	120	23.8bcd	18.8fgh	23.0cde	8.0l	16.2a	5.8de	3.6fghij	5.6def	7.2ef	12.2d	19.2a	2.2ijkl	0.4de	0.8bcde	0.2de	0.2de
	180	6.4lm	25.8abc	20.2defg	8.4kl	3.4fghijk	3.6fghij	2.2ghijk	3.0fghijk	2.8hijkl	20.6a	16.2bc	5.2efghi	0.2de	1.6abc	1.8ab	0.2de
	240	3.8mn	8.2kl	1.0n	1.0n	2.6fghijk	2.0hijk	0.0k	0.0k	1.2kl	5.4efghi	1.0kl	1.0kl	0.0e	0.8bcde	0.0e	0.0e
	300	1.0n	1.0n	1.0n	1.0n	1.0hijk	0.0k	0.3jk	0.0k	0.0l	0.8kl	0.8kl	1.0kl	0.0e	0.2de	0.0e	0.0e
	360	-	1.0n	1.0n	1.0n	-	0.0k	0.0k	0.0k	-	1.0kl	1.0kl	1.0kl	-	0.0e	0.0e	0.0e

表中同一指标不同品种间不同的字母表示在不同盐碱浓度胁迫下各品种在 5%水平上差异显著

和更大面积的吸收水分和养分供其生长抵抗盐碱,同时细根影响根系周围土壤中盐分与水分的运移,更有利于维持根系生长周围土壤盐碱的平衡,达到根系生长的最适宜环境,这与宋香静等、王树凤等^[11,20]的研究一致,低盐环境促进细根的生长,而高盐环境则不利于根系的生长。这是植株自身应对盐环境的策略。当盐浓度大于 120 mmol/L,中性盐下,细根生长没有受到明显的抑制,但是碱性盐下各品种根系的总长度、表面积、体积以及根尖数都受到不同显著程度的抑制,这说明,碱性盐对海岛棉幼苗根系生长的伤害大于中性盐,碱性盐胁迫比中性盐胁迫多了一个高 pH 值胁迫,前人研究表明碱胁迫的高 pH 造成矿质营养状况及氧气供应能力的严重破坏,根系在高 pH 条件下合成并积累了过量的有机酸,造成细胞壁损伤,导致植物细胞内离子平衡及正常的代谢被破坏^[12-13,21-22],根系出现腐烂现象,阻碍植株对土壤中养分的有效吸收。

从不同盐浓度下各品种的根系形态上反映出,不同的品种对盐碱胁迫的耐受能力也不同,这是品种的自身的遗传特性所决定的。相同类型盐的相同浓度下,4 个品种的根系参数表现不一,中性盐下,120 mmol/L 盐浓度时,新海 43 号的根系长度达到最大值,其次是新海 35 号;而根系总表面积、总体积、总根尖数一直新海 35 号最大,而且相较于 CK,增长也最大,这说明相较于其他品种,新海 35 号更受益于低盐环境;碱性盐下,各品种的不同茎级的根系参数随着盐浓度的增加均在减小,新海 35 号的减小程度相较于其他品种更弱。

4 结论

盐浓度在 0—120 mmol/L,两种盐对各海岛棉幼苗的根系生长有明显的促进或者无显著抑制作用。中性盐下,当盐浓度大于 180 mmol/L 时,对不同茎级根系的根长、根表面积、体积以及根尖数有显著抑制的作用;碱性盐下,当盐浓度大于 120 mmol/L 时,对海岛棉幼苗不同茎级根系的长度、表面积、体积以及根尖数有显著作用;相较于中性盐,碱性盐对于根系生长的阻碍作用较大。4 个品种中,新海 35 号相对于较耐盐,随着盐浓度的增加,根冠比、根系参数等下降程度均小于其余品种,而新海 48 号对盐相较于敏感,随着盐浓度的增加,下降最快;新海 31 号和新海 43 号则是处于耐盐性和敏感性之间的品种。

参考文献 (References):

- [1] 陈镭,侯东升,郭玲玲,司爱军,邓福军. 新疆盐碱地形成特点及改良措施. 新疆农垦科技, 2009, 32(5): 56-57.
- [2] Farooq M, Hussain M, Wakeel A, Siddique K H M. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(2): 461-481.
- [3] 王庆惠,韩伟,侯银莹,冯琳,叶祖鹏,顾慧敏,陈波浪. 不同耐盐品种棉花根系主要指标对盐分胁迫的响应. 应用生态学报, 2018, 29(3): 865-873.
- [4] 杨淑萍,危常州,梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉种子萌发特性的影响. 中国棉花, 2012, 39(12): 6-10.
- [5] Schleiff U. Conceptual approach to lateral salinity gradients around roots of salt-sensitive and salt-tolerant crops under irrigation conditions. Ecological Questions, 2011, 14(1): 35-38.
- [6] 江洪,白莹莹,饶应福,陈冲,蔡永立. 新围垦盐土地三种人工林群落根生物量及其影响因素分析. 植物学报, 2016, 51(3): 343-352.
- [7] 刘正祥,张华新,杨秀艳,刘涛,狄文彬. NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性. 生态学报, 2014, 34(2): 326-336.
- [8] Qados A M S A. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2011, 10(1): 7-15.
- [9] Lu Y, Lei J Q, Zeng F J, Zhang B, Liu G J, Liu B, Li X Y. Effect of NaCl-induced changes in growth, photosynthetic characteristics, water status and enzymatic antioxidant system of *Calligonum caput-medusae* seedlings. Photosynthetica, 2017, 55(1): 96-106.
- [10] 王俭珍,刘倩,高娅妮,柳旭. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展. 生态学报, 2017, 37(16): 5565-5577.
- [11] 宋香静,李胜男,郭嘉,于一雷,刘志伟,韦玮. 不同盐分水平对怪柳扦插苗根系生长及生理特性的影响. 生态学报, 2018, 38(2): 606-614.
- [12] 于天一,王春晓,孙学武,孙秀山,郑永美,吴正锋,沈浦,王才斌. 碱胁迫对花生幼苗根系形态及干物质累积的影响. 中国油料作物学报, 2017, 39(2): 190-196.
- [13] 张晓磊,刘晓静,齐敏兴,刘艳楠,蒯佳林. 混合盐碱对紫花苜蓿苗期根系特征的影响. 中国生态农业学报, 2013, 21(3): 340-346.
- [14] 杨淑萍,危常州,梁永超. 盐胁迫对海岛棉不同基因型幼苗生长及生理生态特征的影响. 生态学报, 2010, 30(9): 2322-2331.
- [15] 阿曼古丽·买买提阿力,拉扎提·努尔布拉提,高丽丽,张巨松,田立文. 盐胁迫对海岛棉和陆地棉幼苗生长及生理特性的影响. 植物

- 学报, 2017, 52(4): 465-473.
- [16] 王继伟, 赵成章, 赵连春, 王小鹏, 李群. 内陆盐沼芦苇根系形态及生物量分配对土壤盐分因子的响应. 生态学报, 2018, 38(13): 4843-4851.
- [17] Pregitzer K S, Deforest J L, Burton A J, Allen M F, Ruess R W, Hendrick R L. Fine root architecture of nine north American trees. *Ecological Monographs*, 2002, 72(2): 293-309.
- [18] Guo D L, Xia M X, Wei X, Chang W J, Liu Y, Wang Z Q. Anatomical traits associated with absorption and mycorrhizal colonization are linked to root branch order in twenty-three Chinese temperate tree species. *New Phytologist*, 2008, 180(3): 673-683.
- [19] McCormack M L, Dickie I A, Eissenstat D M, Fahey T J, Fernandez C W, Guo D L, Helmisaari H S, Hobbie E A, Iversen C M, Jackson R B, Leppälammil-Kujansuu J, Norby R J, Phillips R P, Pregitzer K S, Pritchard S G, Rewald B, Zadworny M. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*, 2015, 207(3): 505-518.
- [20] 王树凤, 胡韵雪, 孙海菁, 施翔, 潘红伟, 陈益泰. 盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响. 生态学报, 2014, 34(4): 1021-1029.
- [21] 郭瑞, 周际, 杨帆, 李峰. 小麦根系在碱胁迫下的生理代谢反应. 植物生态学报, 2017, 41(6): 683-692.
- [22] Byrt C S, Munns R, Burton R A, Gilliam M, Wege S. Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant Science*, 2018, 269: 47-55.